

УДК 681.324

П.А. Михеев, С.П. Сущенко

**АНАЛИЗ ЗАГРУЗКИ АГРЕГИРУЮЩЕГО ПОРТА
КОММУТАТОРА ЛВС**

Рассматривается математическая модель сетевого коммутатора, аккумулирующего трафик от клиентских соединений к серверным системам. Найдены функциональные зависимости объема потока, пропущенного к серверной платформе, от емкости буферного накопителя коммутатора, параметров его портов, количества клиентских соединений и интенсивности абонентских потоков.

Ключевые слова: *многопортовый коммутатор, загрузка, блокировки памяти, система массового обслуживания, мультиплексирование потоков.*

Наиболее массовые технологии построения современных локальных вычислительных сетей (ЛВС) основаны на методе случайного множественного доступа к разделяемой множественным абонентам среде передачи данных [1]. Данный метод обеспечивает простую топологию сети, однако при высоких нагрузках и большом числе абонентов операционные характеристики сети катастрофически ухудшаются [2]. Для повышения реального быстродействия ЛВС используется метод логической структуризации сети, основанный на сегментировании ее с помощью технологии коммутируемого доступа [1,3]. Кроме повышения производительности ЛВС логическая структуризация с помощью коммутаторов упрощает управление сетью, увеличивает ее гибкость и повышает безопасность работы с прикладными данными в различных сегментах сети. Техническая реализация коммутаторов допускает схемы построения на основе коммутационной матрицы, разделяемой многовходовой памяти, общей шине и композиции различных архитектур. Различают три режима коммутации протокольных блоков данных: коммутация с промежуточной (полной) буферизацией, сквозная коммутация с буферизацией заголовка кадра до адреса назначения (на лету) и гибридная сквозная коммутация с буферизацией всего заголовка и поля данных кадра минимально разрешенного стандартом размера, обеспечивающая возможность фильтрации конфликтов [1]. Характерно применение коммутационных устройств в качестве концентратора, аккумулирующего трафик от настольных систем к файл-серверам, серверам баз данных и серверам приложений. В задачах синтеза структуры и параметров локальных сетей передачи данных важнейшим является сбалансированный выбор быстродействия каналов к прикладным серверным системам общего назначения, числа абонентов, подключаемых к таким приложениям, и технических параметров коммутационных устройств связи [3]. Математические модели локальной сети, мультиплексирующей абонентские потоки к сервисным службам, позволяют проводить анализ влияния параметров клиентского трафика на пропускную способность агрегирующих портов коммутатора с ограниченной памятью, расчет объема буферной памяти и исследование стратегий обеспечения качества сервиса, предоставляемого сетевыми службами.

1. Математическая модель сетевого коммутатора с мультиплексированием трафика

Рассмотрим фрагмент локальной компьютерной сети, включающий M клиентов, подключенных к серверу через сетевой коммутатор. Считаем, что к M однородным по скорости портам коммутатора подключены абоненты, порождающие поток кадров равной длины к серверной платформе, подсоединенной к коммутатору через $M+1$ -й порт с физической скоростью передачи (быстродействием), в $S \geq 1$ раз превышающей скорость абонентских портов (рис. 1). Считаем, что сетевые соединения абсолютно надежны, все клиентские источники данных независимы и работают синхронно с периодом длительности τ . Длительность этого периода определяется быстродействием портов для подключения абонентов и накладными расходами, связанными с коммутацией кадров между портами.

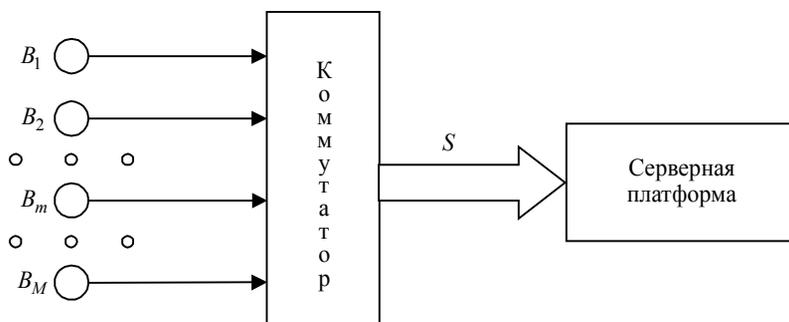


Рис. 1. Структурная схема локальной вычислительной сети с мультиплексированием трафика

Тогда за время полного цикла передачи кадра τ по абонентским портам в серверный порт может быть отправлено $0 \leq i \leq S$ кадров. Будем считать, кроме того, что коммутатор работает в режиме полной промежуточной буферизации и кадр, поступивший в коммутатор в текущем цикле τ , начнет передаваться по выходному (серверному) порту только в следующем цикле. Будем полагать, что на абонентских портах информационные кадры возникают в каждый период τ с вероятностями $B_m(t) = B_m$, $m = \overline{1, M}$, не зависящими от времени t и числа коммутируемых кадров. Предположим также, что для хранения кадров в выходной очереди коммутатора к серверному порту выделен пул буферной памяти объема $K \geq M$. Тогда поведение рассматриваемого сетевого фрагмента представимо в виде марковской системы массового обслуживания (СМО) с дискретным временем, конечным накопителем, неординарным входящим потоком и одним прибором с детерминированным групповым обслуживанием заявок [4]. Неординарный входящий поток СМО определяется вероятностями появления кадров в абонентских портах $B_m, m = \overline{1, M}$, а число обслуженных заявок – быстродействием серверного порта S . Динамика очереди к выходному каналу связи данной СМО описывается цепью Маркова. Обозначим через E_k состояние цепи Маркова, в котором размер очереди к выходному ($M+1$ -му) порту коммутатора равен k . Множество возможных состояний цепи Маркова определяется размерами буферной памяти, выделенной для хранения кадров в выходной очереди $k \leq K$.

Важнейшей характеристикой СМО ограниченной емкости в стационарном режиме является объем пропущенного (обслуженного) потока или загрузка. В рассматриваемом случае данная операционная характеристика определяется как доля быстрогодействия серверного соединения, достигаемая в условиях агрегирования трафика от M клиентов:

$$Z(K, S, M, \bar{B}) = \sum_{k=1}^S kP_k + S \sum_{k=S+1}^K P_k, \quad (1)$$

где $\bar{B} = \{B_1, \dots, B_M\}$ – вектор значений вероятностей $B_m, m = \overline{1, M}$, P_k – вероятности состояний цепи Маркова. В случае равенства вероятностей появления абонентских кадров в портах коммутатора $B_m = B, m = \overline{1, M}$, объем обслуженного потока будем обозначать как $Z(K, S, M, B)$.

2. Анализ фрагмента с однородными вероятностями порождения клиентских кадров

Начнем рассмотрение со случая, когда трафик от всех абонентов имеет одинаковые вероятности появления пакетов во входных портах $B_m = B, m = \overline{1, M}$. Тогда переходные вероятности π_{ij} цепи Маркова, описывающей функционирование СМО, при $K \geq M \geq S \geq 1$ определяются следующими зависимостями:

$$\pi_{ij} = \begin{cases} \binom{M}{j} B^j (1-B)^{M-j}, i = \overline{0, S}, 0 \leq j \leq M; \\ \binom{M}{S+j-i} B^{S+j-i} (1-B)^{M-S+i-j}, i = \overline{S+1, K}, i-S \leq j \leq i+M-S, j < K; \\ \sum_{g=K+S-i}^M \binom{M}{g} B^g (1-B)^{M-g}, i = \overline{K+S-M, K}, j = K. \end{cases} \quad (2)$$

Для совокупности портов коммутатора с однородными входными потоками уравнения равновесия для вероятностей состояния P_k имеют вид

$$P_k = \sum_{i=0}^S P_i \binom{M}{k} B^k (1-B)^{M-k} + \sum_{i=1}^k P_{S+i} \binom{M}{k-i} B^{k-i} (1-B)^{M-k+i}, k = \overline{0, M};$$

$$P_k = \sum_{i=k-M}^k P_{S+i} \binom{M}{k-i} B^{k-i} (1-B)^{M-k+i}, k = \overline{M+1, K-S};$$

$$P_k = \sum_{i=k-M}^{K-S} P_{S+i} \binom{M}{k-i} B^{k-i} (1-B)^{M-k+i}, k = \overline{K-S+1, K-1};$$

$$P_K = \sum_{i=K-M}^{K-S} P_{S+i} \sum_{j=K-i}^M \binom{M}{j} B^j (1-B)^{M-j}.$$

Проанализируем работу локальной сети при различных значениях параметров коммутатора. Начнем анализ со случая равенства числа источников информационных потоков (портов) и быстрогодействия серверного соединения $M = S$. В этом случае из определения переходных вероятностей (2) нетрудно видеть, что при

$K \geq M$ достижимыми являются только состояния с номерами $i = \overline{0, M}$. Тогда решение системы уравнений локального равновесия (2) принимает следующий вид:

$$P_k = \binom{M}{k} B^k (1-B)^{M-k}, k = \overline{0, M}.$$

Пропущенный поток при этом согласно (1) прямо пропорционален числу источников (быстродействию серверного соединения) и интенсивности клиентского трафика:

$$Z(K, S, M, B) = MB.$$

Рассмотрим поведение коммутатора при числе агрегируемых информационных потоков, большем производительности серверного соединения $M > S$. Если размер очереди к выходному порту коммутатора совпадает с его быстродействием ($K=S$), то вероятности состояний можно найти в аналитическом виде:

$$P_k = \binom{M}{k} B^k (1-B)^{M-k}, k = \overline{0, K-1}, P_K = \sum_{k=M-S}^M \binom{M}{k} B^k (1-B)^{M-k}.$$

Операционный параметр $Z(K, S, M, B)$ при этом определится выражением

$$Z(S, S, M, B) = M \sum_{k=1}^{S-1} \binom{M-1}{k-1} B^k (1-B)^{M-k} + S \sum_{k=M-S}^M \binom{M}{k} B^k (1-B)^{M-k}.$$

Для $S=1, M=2$ и $K \geq M$ вероятности состояний задаются соотношениями

$$P_1 = P_0 \frac{B(2-B)}{(1-B)^2}; P_k = P_0 \frac{B^{2(k-1)}}{(1-B)^{2k}}, k = \overline{2, K}; P_0 = \frac{(1-B)^{2K} (1-2B)}{(1-B)^{2K} - B^{2K}}.$$

Пропущенный поток при этом составит

$$Z(K, 1, 2, B) = \frac{2B(1-B)^{2K} - B^{2K}}{(1-B)^{2K} - B^{2K}}.$$

Из полученных соотношений нетрудно видеть, что индекс производительности $Z(K, S, M, B)$ имеет монотонную зависимость от числа абонентов, параметров клиентского трафика и портов коммутатора.

3. Анализ фрагмента с неоднородными вероятностями порождения клиентских кадров

Начнем рассмотрение со случая двух клиентских потоков ($M=2$), мультиплексируемых в серверное соединение с быстродействием $S=2$. Для дискретной цепи Маркова, описывающей функционирование рассматриваемого фрагмента, достижимыми будут состояния с номерами $k = \overline{0, 2}$. Система уравнений равновесия для вероятностей состояний цепи Маркова P_k примет вид

$$P_0 (B_1 + B_2 - B_1 B_2) = (P_1 + P_2)(1 - B_1)(1 - B_2);$$

$$P_1 (1 - B_1 - B_2 + 2B_1 B_2) = (P_0 + P_2)(B_1 + B_2 - 2B_1 B_2);$$

$$P_2 (1 - B_1 B_2) = (P_0 + P_1)B_1 B_2.$$

С учетом условия нормировки для финальных вероятностей состояний цепи Маркова отсюда получаем

$$P_0 = (1 - B_1)(1 - B_2); P_1 = B_1 + B_2 - 2B_1B_2; P_2 = B_1B_2.$$

Пропущенный поток при этом определится суммой клиентских потоков

$$Z(K, 2, 2, \vec{B}) = B_1 + B_2.$$

В случае произвольных значений параметров фрагмента, удовлетворяющих условию $M=S$, вероятности состояний цепи Маркова образуют полиномиальные элементы: $P_k = L_k$, где

$$L_k = \sum_{j_1=1}^{M-k+1} B_{j_1} \sum_{j_2=j_1+1}^{M-k+2} B_{j_2} \dots \sum_{j_k=j_{k-1}+1}^M B_{j_k} \prod_{l=1, l \neq \{j_n, n=1, k\}}^M (1 - B_l), k = \overline{0, M}, \quad (3)$$

а пропущенный поток (1) равен сумме вероятностей появления кадров в клиентских портах коммутатора $Z(K, S, M, \vec{B}) = \sum_{k=1}^M B_k$. Отсюда следует, что объем про-

пущенного потока при $M=S$ инвариантен к емкости буферного накопителя, превышающей число клиентских портов ($B > M$).

Рассмотрим локальную сеть с тремя клиентскими потоками ($M=3$), буферным накопителем коммутатора $K \geq M$ и скоростью серверного соединения $S=2$. Система уравнений равновесия с учетом введенных для L_k обозначений (3), принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} P_0(1 - L_0) &= P_1L_0 + P_2L_0; & P_1(1 - L_1) &= (P_0 + P_2)L_1 + P_3L_0; \\ P_2(1 - L_2) &= (P_0 + P_1)L_2 + P_3L_1 + P_4L_0; \\ P_3(1 - L_2) &= (P_0 + P_1 + P_2)L_3 + P_4L_1 + P_5L_0; \\ P_k(1 - L_2) &= P_{k-1}L_3 + P_{k+1}L_1 + P_{k+2}L_0, & k &= \overline{4, K-2}; \\ P_{K-1}(1 - L_2) &= P_{K-2}L_3 + P_KL_1; \\ P_K(1 - L_2 - L_3) &= P_{K-1}L_3. \end{aligned} \quad (4)$$

Для объема буферной памяти $K=3$ решение системы (4) имеет вид

$$P_0 = \frac{L_0(L_1 + L_0)}{1 - L_2}; \quad P_1 = \frac{L_1(L_1 + L_0) + L_0L_3}{1 - L_2}; \quad P_2 = \frac{L_2(L_1 + L_0) + L_1L_3}{1 - L_2}; \quad P_3 = \frac{L_3}{1 - L_2}.$$

Для пропущенного потока в этом случае согласно (1) получаем следующую зависимость:

$$Z(3, 2, 3, \vec{B}) = \frac{(L_1 + L_0)(L_1 + 2L_2) + L_3(2 + 2L_1 + L_0)}{1 - L_2}.$$

При однородных клиентских потоках $B_m = B, m = \overline{1, 3}$ данное соотношение упрощается:

$$Z(3, 2, 3, B) = \frac{3B - 9B^3 + 9B^4 - B^6}{1 - 3B^2 + 3B^3}.$$

Для буферного накопителя емкости $K=4$ сетевого фрагмента с параметрами $S=2, M=3$ решение системы уравнений равновесия (4) преобразуются к виду

$$P_0 = \frac{L_0 \left[(L_0 + L_1)^2 + L_0 L_3 \right]}{(1 - L_2)^2 - L_1 L_3}; P_1 = \frac{L_1 (L_0 + L_1)^2 + (L_0 + 2L_1) L_0 L_3}{(1 - L_2)^2 - L_1 L_3};$$

$$P_2 = \frac{L_2 (L_0 + L_1)^2 + [L_0(1 - L_0) + L_1^2] L_3}{(1 - L_2)^2 - L_1 L_3}; P_3 = \frac{(L_1 + L_0) L_3}{(1 - L_2)^2 - L_1 L_3}; P_4 = \frac{L_3^2}{(1 - L_2)^2 - L_1 L_3}.$$

Пропущенный поток в этом случае задается следующим выражением:

$$Z(4, 2, 3, \bar{B}) = \frac{(L_1 + L_0)^2 (L_1 + 2L_2) + L_3 (2L_1^2 + 2L_1 + 2L_1 L_0 + 4L_0 - L_0^2 + 2L_3)}{(1 - L_2)^2 - L_1 L_3}.$$

При одинаковых вероятностях $B_m = B, m = \bar{1, 3}$, данная зависимость упрощается до соотношения

$$Z(4, 2, 3, B) = \frac{3B - 18B^3 + 18B^4 + 18B^5 - 36B^6 + 18B^7 - B^9}{1 - 6B^2 + 6B^3 + 6B^4 - 12B^5 + 6B^6}.$$

При объеме буферной памяти $K=5$ рассматриваемого фрагмента система уравнений равновесия (4) имеет следующее решение:

$$P_0 = \frac{L_0^2 (L_1 + L_0) [(L_1 + L_0)^2 + 2L_0 L_3]}{(1 - L_2)^3 - 2L_1 (1 - L_2) L_3 - L_0 L_3^2};$$

$$P_1 = \frac{L_1 (L_1 + L_0)^3 + [2L_1 (L_1 + L_0) + (L_1 + L_0)^2 + L_0 L_3] L_0 L_3}{(1 - L_2)^3 - 2L_1 (1 - L_2) L_3 - L_0 L_3^2};$$

$$P_2 = \frac{L_2 (L_0 + L_1)^3 + [(L_0 + L_1)^2 (L_1 - 2L_0) + 2L_0 (L_0 + L_1) - L_0^2] L_3}{(1 - L_2)^3 - 2L_1 (1 - L_2) L_3 - L_0 L_3^2};$$

$$P_3 = \frac{(L_0 + L_1)^2 L_3 + L_0 L_3^2}{(1 - L_2)^3 - 2L_1 (1 - L_2) L_3 - L_0 L_3^2}; P_4 = \frac{(L_1 + L_0) L_3^2}{(1 - L_2)^3 - 2L_1 (1 - L_2) L_3 - L_0 L_3^2};$$

$$P_5 = \frac{(L_0 + L_1) L_3^3}{(1 - L_2)^3 - 2L_1 (1 - \beta) L_3 - L_0 L_3^2}.$$

Пропущенный поток в этом случае согласно (1) составит

$$Z(5, 2, 3, \bar{B}) = \left[(L_0 + L_1)^3 (L_1 + 2L_2) + L_3 (L_0 + L_1)^2 (2 + 2L_1 - 3L_0) + \right. \\ \left. + 2L_3 (L_0 + L_1) (L_0 L_1 + 2L_0 + L_3) + L_0 (2 - L_0) L_3^2 + 2L_3^3 \right] / \left[(1 - L_2)^3 - 2L_1 (1 - L_2) L_3 - L_0 L_3^2 \right].$$

При равновероятном поступлении кадров от абонентских портов коммутатора ($B_m = B, m = \bar{1, 3}$) выражение для обслуженного потока упрощается до следующей зависимости:

$$Z(5, 2, 3, B) = \frac{3B - 27B^3 + 27B^4 + 63B^5 - 126B^6 + 33B^7 + 90B^8 - 90B^9 + 30B^{10} - B^{12}}{1 - 9B^2 + 9B^3 + 21B^4 - 42B^5 + 11B^6 + 30B^7 - 30B^8 + 10B^9}.$$

С дальнейшим ростом емкости буферного накопителя вид аналитического решения становится слишком громоздким.

Рассмотрим локальную сеть со скоростью серверного соединения $S=3$ и числом клиентских портов $M=4$. Система уравнений равновесия для вероятностей состояний цепи Маркова P_i при емкости буферной памяти, превышающей число клиентских портов $K \geq M$ принимает вид

$$P_0(1-L_0) = (P_1 + P_2 + P_3)L_0; \quad P_1(1-L_1) = (P_0 + P_2 + P_3)L_1 + P_4L_0;$$

$$P_2(1-L_2) = (P_0 + P_1 + P_3)L_2 + P_4L_1 + P_5L_0;$$

$$P_3(1-L_3) = (P_0 + P_1 + P_2)L_3 + P_4L_2 + P_5L_1 + P_6L_0;$$

$$P_4(1-L_3) = (P_0 + P_1 + P_2 + P_3)L_4 + P_5L_2 + P_6L_1 + P_7L_0;$$

$$P_i(1-L_3) = P_{i-1}L_4 + P_{i+1}L_2 + P_{i+2}L_1 + P_{i+3}L_0, \quad i = 5, K-3;$$

$$P_{K-2}(1-L_3) = P_{K-3}L_4 + P_{K-1}L_2 + P_KL_1;$$

$$P_{K-1}(1-L_3) = P_{K-2}L_4 + P_KL_2; \quad P_K(1-L_3-L_4) = P_{K-1}L_4.$$

При $K=4$ финальные вероятности состояний цепи Маркова определяются соотношениями

$$P_0 = \frac{L_0(L_0 + L_1 + L_2)}{1-L_3}; \quad P_1 = \frac{L_1(L_0 + L_1 + L_2) + L_0L_4}{1-L_3}; \quad P_2 = \frac{L_2(L_0 + L_1 + L_2) + L_1L_4}{1-L_3};$$

$$P_3 = \frac{L_3(L_0 + L_1 + L_2) + L_2L_4}{1-L_3}; \quad P_4 = \frac{L_4}{1-L_3}.$$

Пропускная способность в этом случае в соответствии с (1) задается выражением

$$Z(4, 3, 4, \bar{B}) = \frac{(L_0 + L_1 + L_2)(L_1 + 2L_2 + 3L_3) + L_4(3 + L_0 + 2L_1 + 3L_2)}{1-L_3}.$$

При равных интенсивностях клиентского трафика ($B_m = B, m = \overline{1,4}$) данная зависимость упрощается:

$$Z(4, 3, 4, B) = \frac{4B - 16B^4 + 16B^5 - B^8}{1 - 4B^2 + 4B^3}.$$

Для объема буферной памяти $K=5$ обслуженный поток принимает следующий вид:

$$Z(5, 3, 4, \bar{B}) = \left[(L_0 + L_1 + L_2)^2(L_1 + 2L_2 + 3L_3) + L_4(L_0 + L_1)(3 + L_0 + 3L_1 + 5L_2 + 3L_3) + \right. \\ \left. + L_2L_4(3 + L_0 + 2L_1 + 3L_2) + L_4^2(3 + 2L_0 + 3L_1) \right] / \left[(1-L_3)^2 - L_2L_4 \right].$$

При равномерном распределении входных потоков соотношение для пропущенного потока получаем

$$Z(5, 3, 4, B) = \frac{4B - 32B^4 + 32B^5 + 40B^7 - 80B^8 + 40B^9 - B^{12}}{1 - 8B^3 + 8B^4 + 10B^6 - 20B^7 + 10B^8}.$$

Для набора параметров $S=3, M=5, K=5$ пропущенный поток определится зависимостью

$$Z(5,3,5,\bar{B}) = \left[(L_0 + L_1 + L_2)^2 (L_1 + 2L_2 + 3L_3) + (L_0 + L_1)(L_0L_4 + 3L_1L_4 + L_1L_5 + 3L_4 + 3L_3L_4 + 5L_2L_4 + 2L_2L_5 + 3L_3L_5) + (L_4 + L_5)(3L_1L_4 + 2L_1L_2 + 3L_4 + 2L_0L_4 + 3L_2 + 3L_2^2 + L_0L_2) + L_5(1-L_3)(3+2L_0+3L_1) \right] / \left[(1-L_3)^2 - L_2L_4 \right].$$

При равновероятном возникновении данных в портах абонентов пропущенный поток выразится соотношением

$$Z(5,3,5,B) = \frac{(5B - 100B^4 + 200B^5 - 100B^6 + 250B^7 - 1000B^8 + 1490B^9 - 992B^{10} + 250B^{11} - 35B^{12} + 75B^{13} - 50B^{14} + 10B^{15})}{(1 - 20B^3 + 40B^4 - 20B^5 + 50B^6 - 200B^7 + 300B^8 - 200B^9 + 50B^{10})}.$$

С дальнейшим увеличением значений параметров коммутатора S, M и K сложность аналитических выражений стремительно нарастает.

4. Обсуждение численных результатов

Численные исследования полученных соотношений показывают, что при равновероятном появлении информационных кадров в портах коммутатора функция пропущенного потока от объема трафика отдельного клиента B имеет вид кривой с насыщением, представленной на рис. 2 – 4. Сходная зависимость имеет место и от быстродействия серверного соединения и объема буферного накопителя коммутатора (см. рис. 5 и рис. 6 соответственно). Из рис. 2 и 3 нетрудно видеть, что с ростом числа абонентов M насыщение пропущенного потока до предельного уровня происходит при более низкой интенсивности клиентского трафика B . На рис. 7 приведены кривые загрузки для различных наборов интенсивности клиентских потоков B_m при равном объеме суммарного входящего трафика от всех абонентов. Численные результаты, приведенные на рис. 7, показывают, что при существенно неоднородной структуре клиентского трафика загрузка серверного соединения повышается по сравнению с равновероятным поступлением кадров от клиентских портов коммутатора (однородной структурой абонентского трафика). Минимум загрузки достигается для одинаковых интенсивностей абонентских потоков ($B_m = B, m = \overline{1, M}$). Наибольшее различие имеет место в окрестности условия равенства общего объема абонентского трафика и быстродействия серверного соединения: $\sum_{m=1}^M B_m = S$. Вместе с тем с увеличением емкости буферной памяти коммутатора K различие в загрузке серверного соединения для различных наборов B_m значительно ослабляется (см. рис. 4, 6, 7). Из анализа функции $Z(K, S, M, \bar{B})$ и представленных на графиках численных результатов следует, что пропущенный поток мажорируется ломаной прямой:

$$Z^*(S, M, \bar{B}) = \begin{cases} \sum_{m=1}^M B_m, & \sum_{m=1}^M B_m \leq S; \\ S, & \sum_{m=1}^M B_m > S. \end{cases} \quad (5)$$

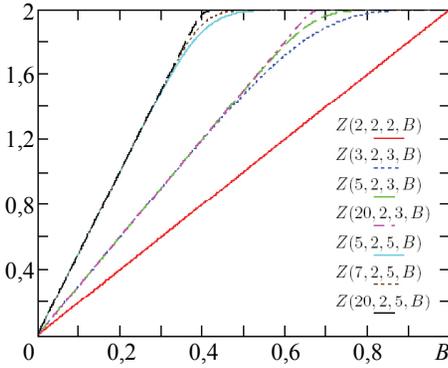


Рис. 2. Сравнительные кривые пропущенного потока от интенсивности трафика абонентов при различном числе клиентов (M)

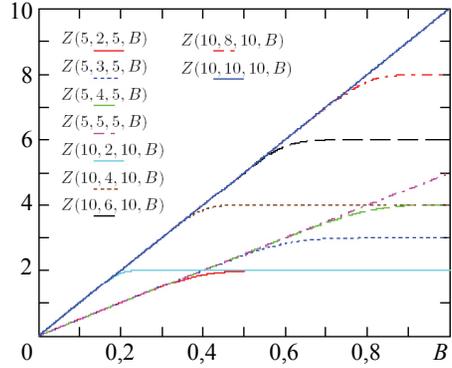


Рис. 3. Зависимость пропущенного потока от интенсивности трафика абонентов для различных скоростей серверного соединения (S)

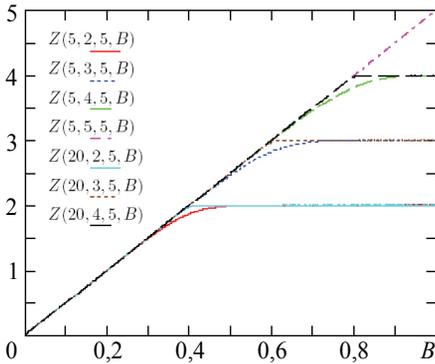


Рис. 4. Сравнительные кривые пропущенного потока от интенсивности трафика абонентов для различных емкостей буферной памяти (K)

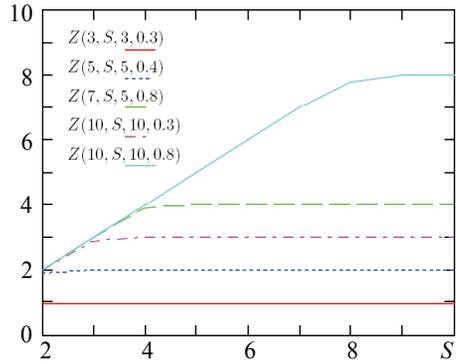


Рис. 5. Зависимость пропущенного потока от быстродействия серверного соединения, при различных интенсивностях абонентского трафика (B) и объемах буферной памяти коммутатора (K)

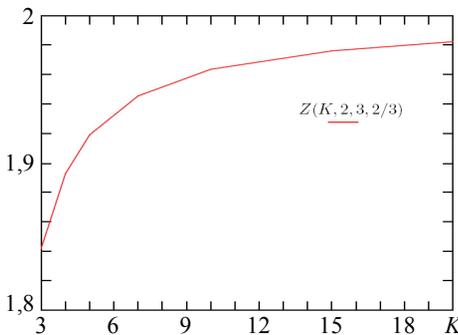


Рис. 6. Зависимость пропущенного потока от объема буферной памяти коммутатора

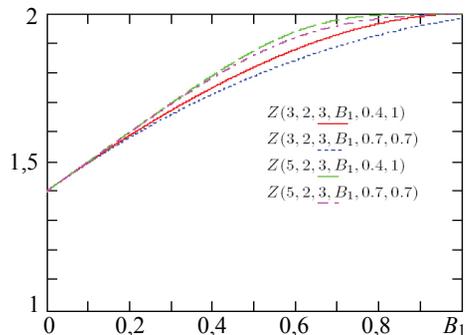


Рис. 7. Зависимость обслуженного потока $Z(K, 2, 3, B_1, B_2, B_3)$ от интенсивности потока первого абонента (B_1) при постоянном объеме трафика от остальных абонентов ($B_2+B_3=1,4$)

В наибольшей мере реальная кривая отстоит от мажоранты при $\sum_{m=1}^M B_m = S$ (см. рис. 2 – 4), однако с ростом емкости буферного накопителя K расстояние между значениями $Z(K, S, M, \bar{B})$ и $Z^*(S, M, \bar{B})$ быстро сокращается (см. рис. 4 и 6) и при $K \geq 3M$ для практических расчетов вместо (1) можно использовать мажоранту (5).

Заключение

В работе предложена синхронная модель фрагмента локальной компьютерной сети в виде марковской СМО с дискретным временем, позволяющая оценить характер влияния числа и параметров входящих потоков, объема буферной памяти многопортового коммутатора, мультиплексирующего клиентский трафик к серверному соединению, и быстродействия канала к серверной платформе на объем пропущенного потока в серверный порт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2006. 958 с.
2. Кустов Н.Т., Сущенко С.П. О пропускной способности метода случайного множественного доступа // *АиТ*. 2001. № 1. С. 91–102.
3. Новиков Ю.В., Кондратенко С.В. Локальные сети: Архитектура, алгоритмы, проектирование. М.: Изд-во ЭКОМ, 2000. 312 с.
4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

Михеев Павел Андреевич

Сущенко Сергей Петрович

Томский государственный университет

E-mail: doka-patrick@mail.ru; ssp@inf.tsu.ru

Поступила в редакцию 15 сентября 2010 г.